



CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL

POLITÉCNICA

"Ingeniamos el futuro"

GRUPO DE INVESTIGACIÓN
HIDRÁULICA DEL RIEGO (UPM)



A IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL:



TECNOLOGIA ATUAL COM BOAS PERSPECTIVAS NO FUTURO

LEONOR RODRÍGUEZ SINOBAS
(leonor.rodriguez.sinobas@upm.es)

AGRADECIMENTOS



**Organizadores do
Congresso
Brasileiro de
Engenharia
Agrícola 2011**

**Professor
Joao Saad
UNESP/ BOTUCATU**

**Professor
Joao Zocoler
UNESP/ ILHA SOTERA**

IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL

**MÉTODO DE IRRIGAÇÃO
PRESSURIZADA COM BOA EFICIÊNCIA Y
MENORES REQUERIMENTOS DA AGUA Y
ENERGIA**

**UTILIZAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS
ALTERNATIVOS: ÁGUAS TRATADAS**

IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL

- **INTRODUÇÃO**
- **ELEMENTOS DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO**
- **EFEITO DO SOLO NA VAZÃO DO EMISSOR**
- **COMPORTAMENTO DAS UNIDADES DE IRRIGAÇÃO NO CAMPO**
- **DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA NAS UNIDADES DE IRRIGAÇÃO**
- **CRITÉRIOS PARA A SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS DE PROJETO E OPERAÇÃO DA IRRIGAÇÃO**
- **DESENVOLVIMENTOS FUTURO**

INTRODUÇÃO

SUPERFICIE IRRIGADA

No mundo: 278.800.000 ha

Irrigação localizada: 6.089.534 ha (2,2%)

(Evolução da irrigação localizada no mundo no período 1981-2006

Fonte: GMIA, 2006. IWMI)

Países: Australia, Israel, México, Nova Zelanda, África do Sul e Estados Unidos

Irrigação subsuperficial: ¿?(USA 0,6%)

(U.S.D.A., Farm and Ranch Irrigation Survey, 1999)

Na Espanha (ESYRCE, 2008)

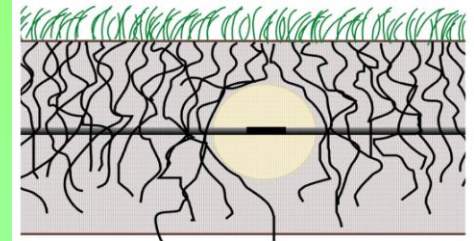
Superfície total irrigada: 3.319.790 ha

Irrigação localizada: 1.381.835 ha (41,6%)

Irrigação subsuperficial ¿?

INTRODUÇÃO

CULTURAS



Cultivos hortícolas: alface, aipo ou esparrago e alho, dentre outros,

Culturas arbóreas: citrus, maçã, videira e oliveira

Outros: alfafa, milho, algodão, gramado, batata, cana-de-açúcar etc.

INTRODUÇÃO

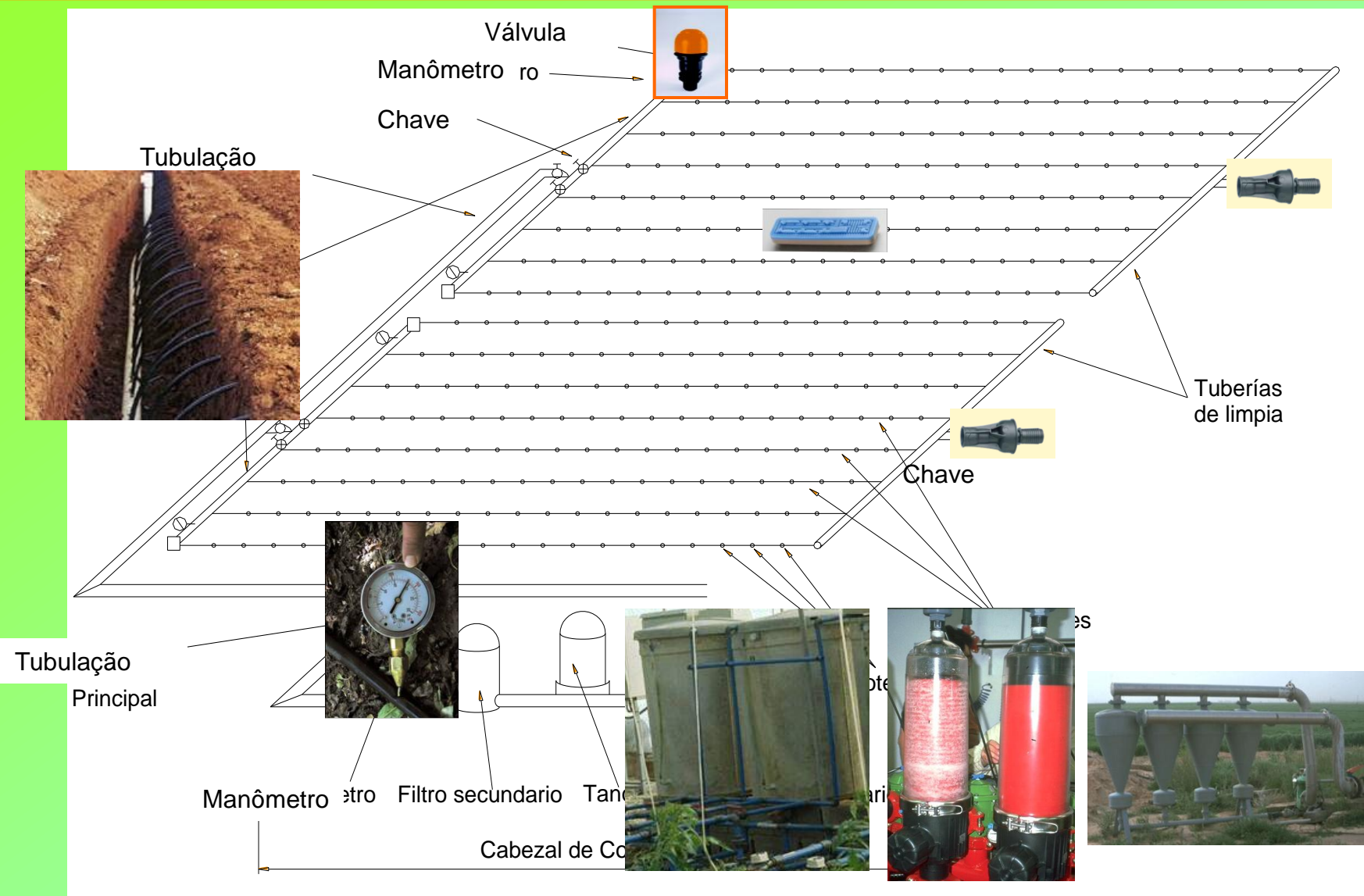
Vantagens do GS (Gotejamento sub-superficial)

- ✓ Reduz: evaporação, perdas de água e abudos por infiltração profunda e escoamento, herbas daninas
- ✓ Uso de águas tratadas
- ✓ Aplica a solução nutritiva na zona radicular e melhora a produção nas culturas

Inconvenientes do GS (Gotejamento sub-superficial)

- ✓ Intrusão das raízes
- ✓ Acumulação de sedimentos e partículas de solo
- ✓ Difícil avaliação

ELEMENTOS DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO



Esquema típico de um sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial

EFEITO DO SOLO NA VAZÃO DO EMISSOR

Ec. Vazão do emissor na superfície

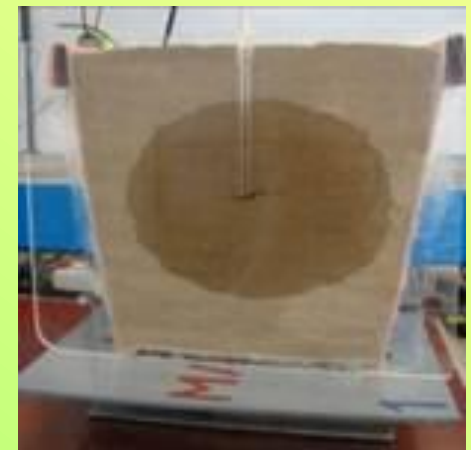
$$q = k \cdot h^x$$

$$q = k \cdot h^x \left(+ u \cdot CV_m \right)$$

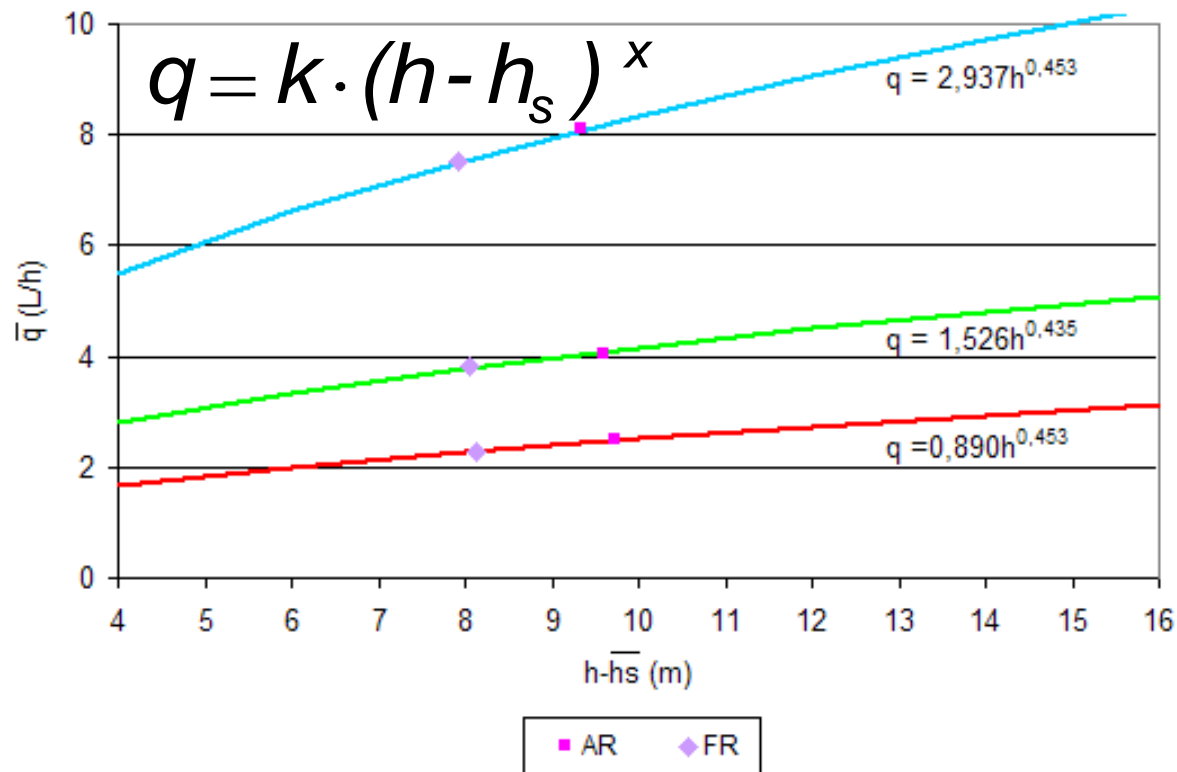


Ec. Vazão do emissor sob a superfície do solo

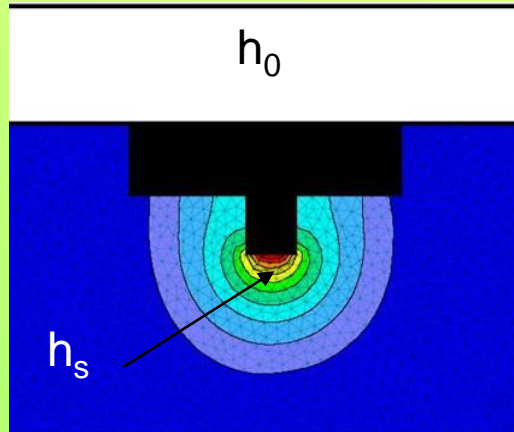
$$q = k \cdot (h - h_s)^x \left(+ u \cdot CV_m \right)$$



EFEITO DO SOLO NA VAZÃO DO EMISSOR



EFEITO DO SOLO NA VAZÃO DO EMISSOR



Shani & Or (1995)

$$h_s = \left(\frac{2 - \alpha \cdot r_o}{8 \cdot \pi \cdot K_s \cdot r_o} \right) \cdot q_f - \frac{1}{\alpha}$$

$$q_f \leq \frac{4 \cdot \pi \cdot K_s}{5 \cdot \alpha^2}$$



Cavidade esférica

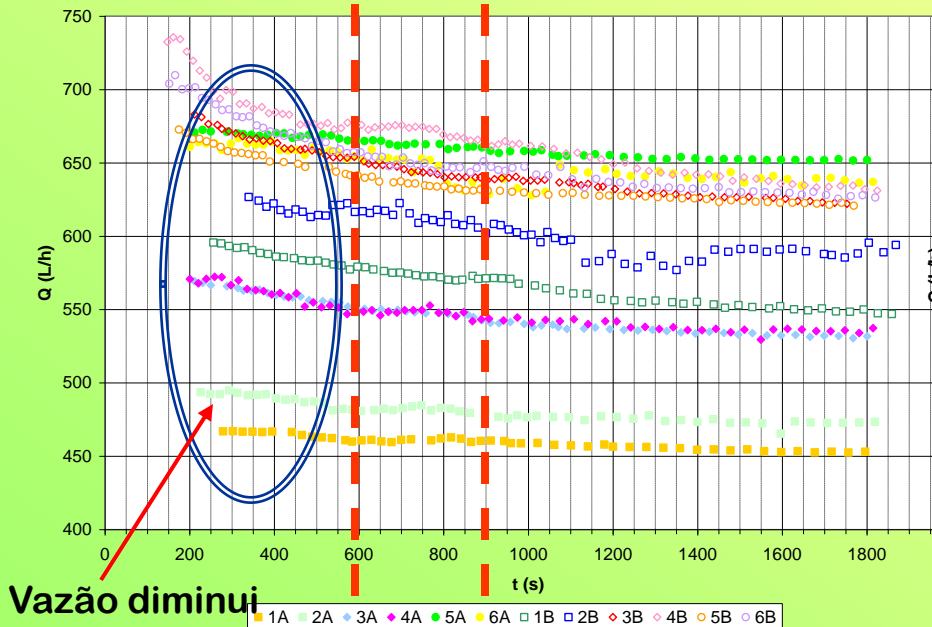
EMISSORES AISLADOS

SOLO	h _s (m)
Arenoso	< 0.5
Franco	< 1

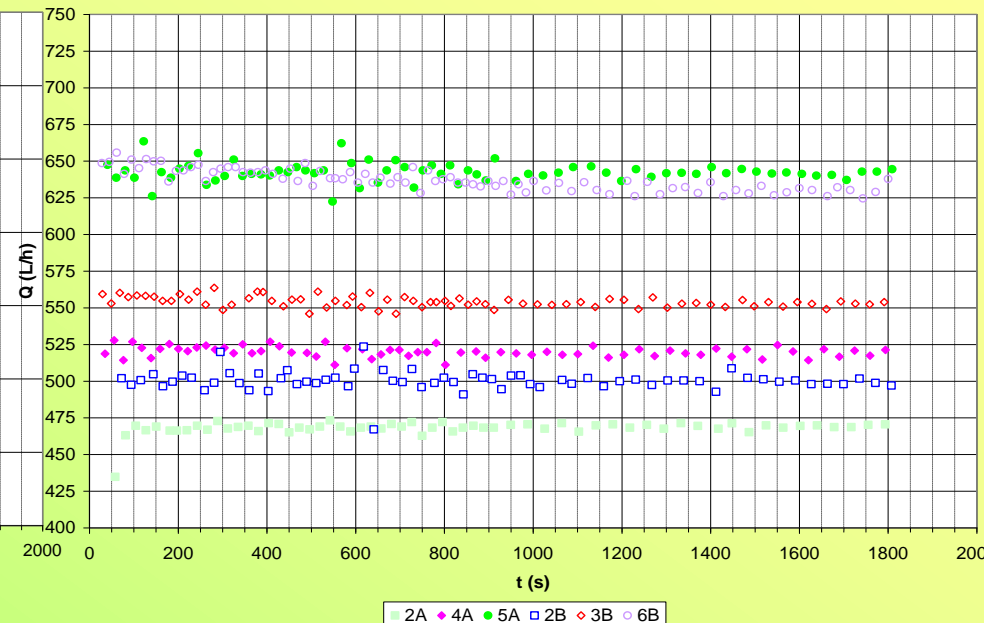
Solo de campo $h_s \leq 8$ m

COMPORTAMENTO DAS UNIDADES DE IRRIGAÇÃO NO CAMPO

RAMAIS ENTERRADOS



RAMAIS SOB A SUPERFÍCIE

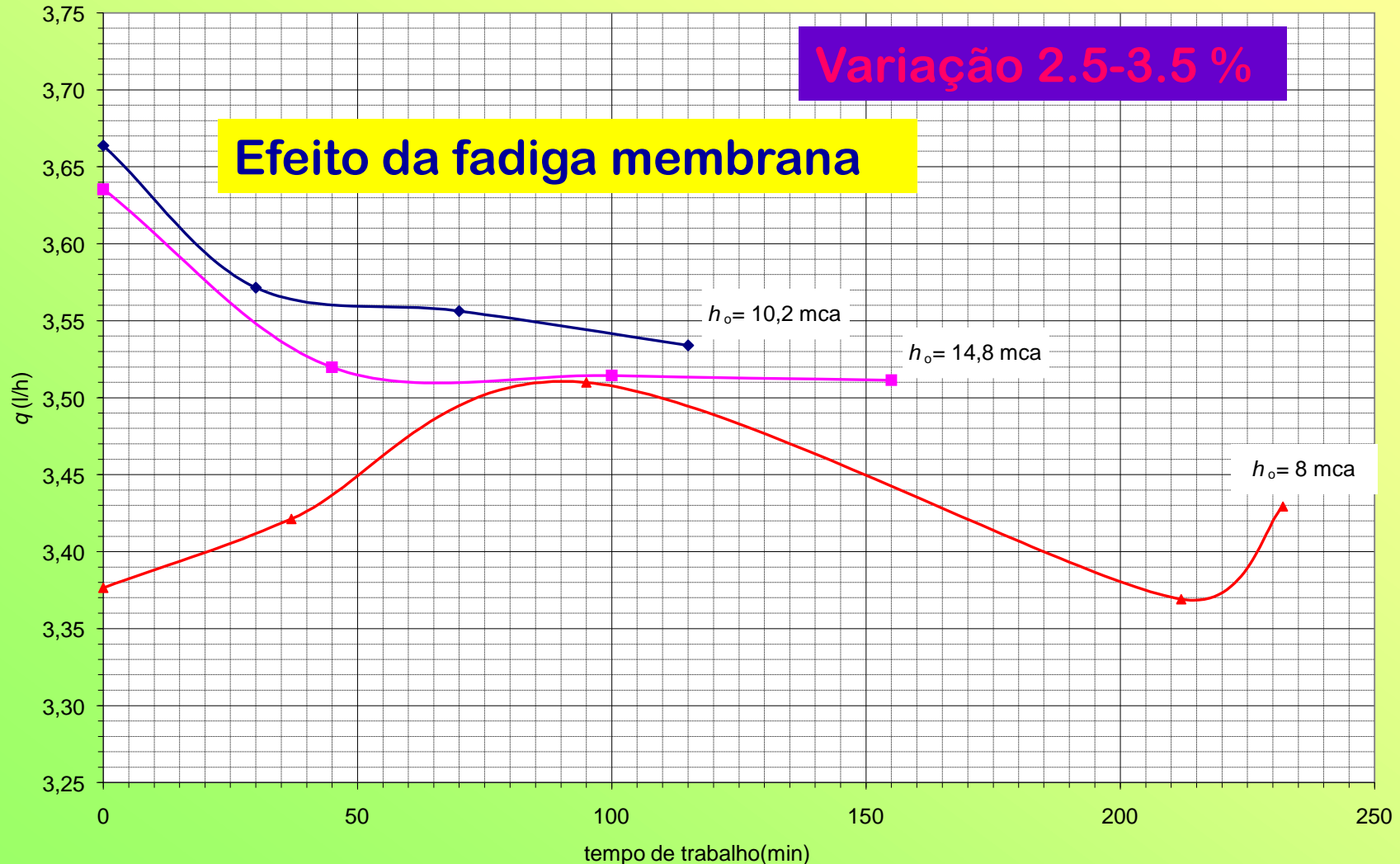


Compensantes= 7.5-10.5 %
não Compensantes = 2.5-3.6 %

Compensantes < 3.5 %
não Compensantes < 2,5 %

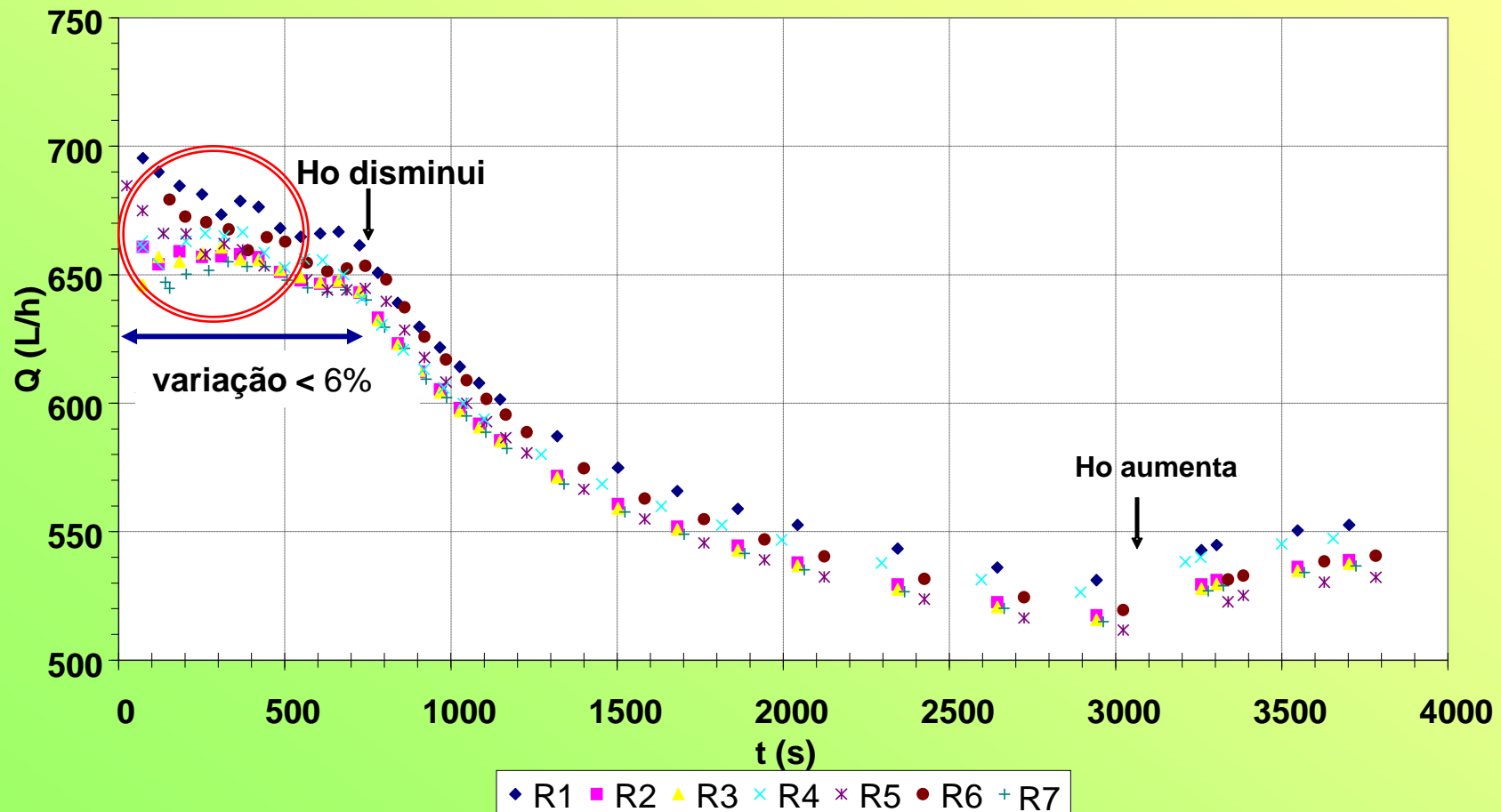
COMPORTAMENTO DAS UNIDADES DE IRRIGAÇÃO NO CAMPO

EMISSOR COMPENSANTE



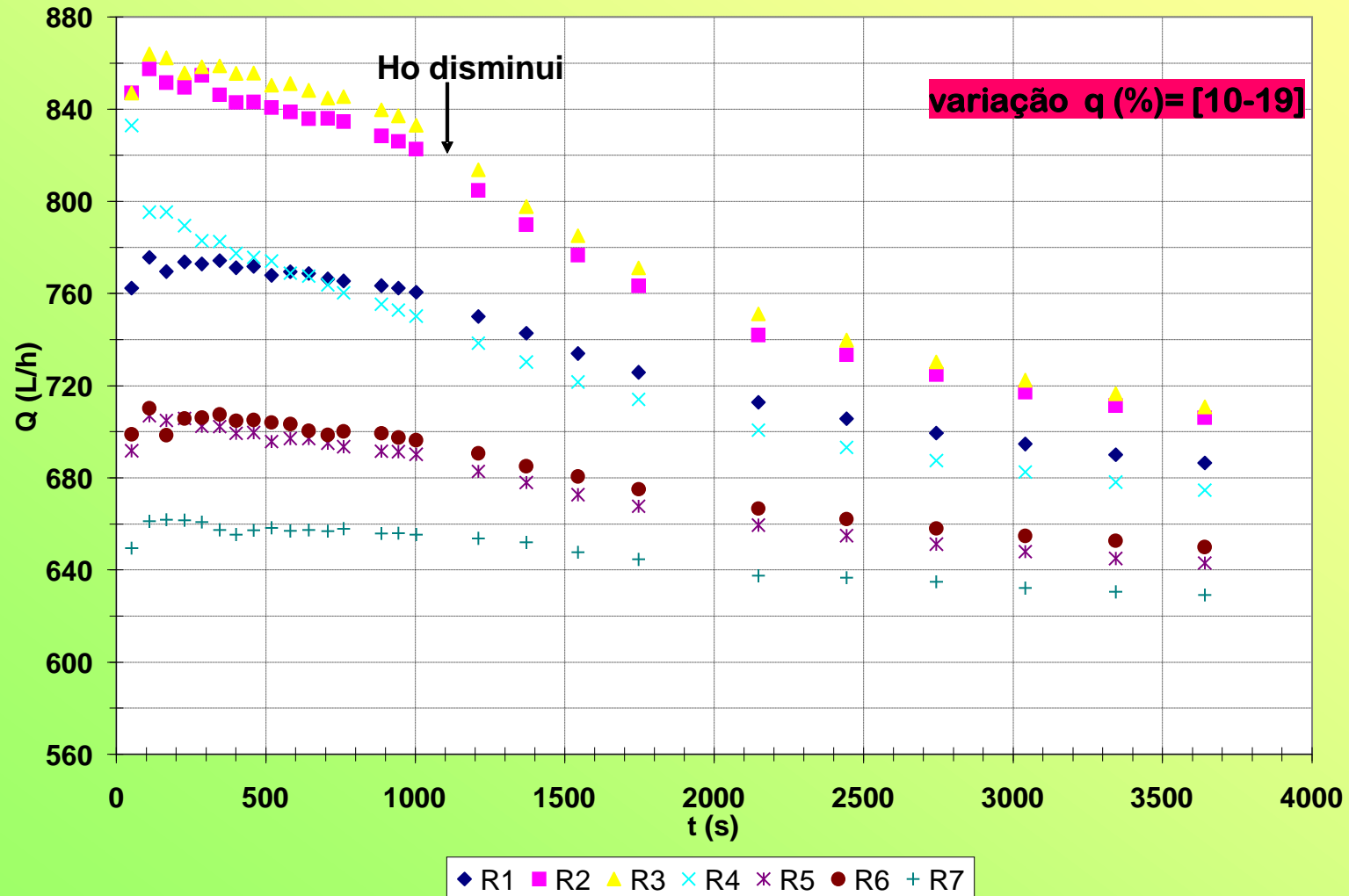
COMPORTAMENTO DAS UNIDADES DE IRRIGAÇÃO NO CAMPO

UNIDAD COM EMISSOR NÃO COMPENSANTE



COMPORTAMENTO DAS UNIDADES DE IRRIGAÇÃO NO CAMPO

UNIDADE COM EMISSOR COMPENSANTE



COMPORTAMENTO DAS UNIDADES DE IRRIGAÇÃO NO CAMPO

SURFACING



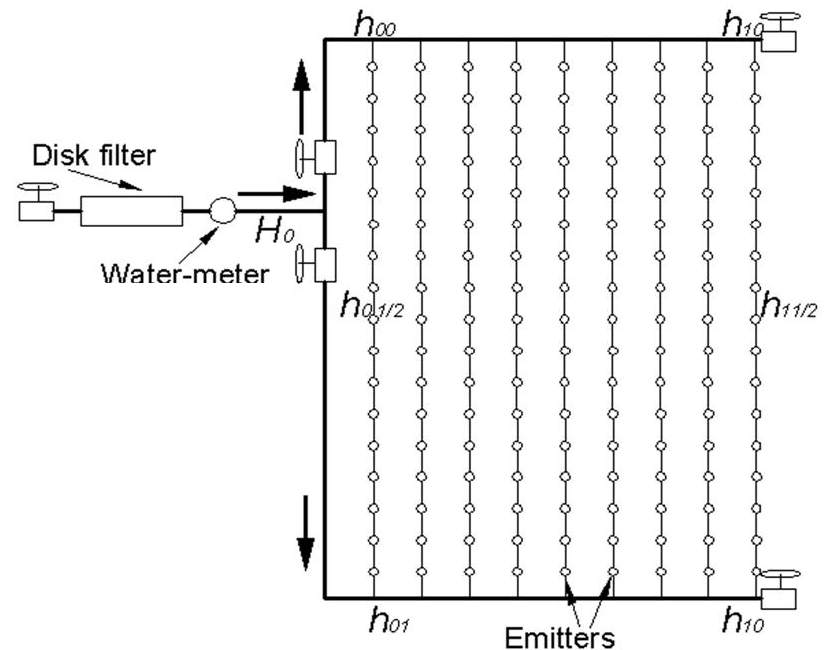
AVALIAÇÃO DE UNIDADES DE IRRIGAÇÃO EM CAMPO

		2V	UP	DW
DAY 1	CV_q	0.108	0.198	0.153
	CV_h	0.102	0.042	0.141
	CV_m	0.038	0.123	
DAY 2	CV	0.080	0.123	
	CV_h	0.064	0.115	
	CV_m	0.048	0.043	

Fuente: Rodriguez-Sinobas et al. 2010

Entupimento do emissor 25-38 %

Unidade sete anos



COMPORTAMENTO DAS UNIDADES DE IRRIGAÇÃO NO CAMPO

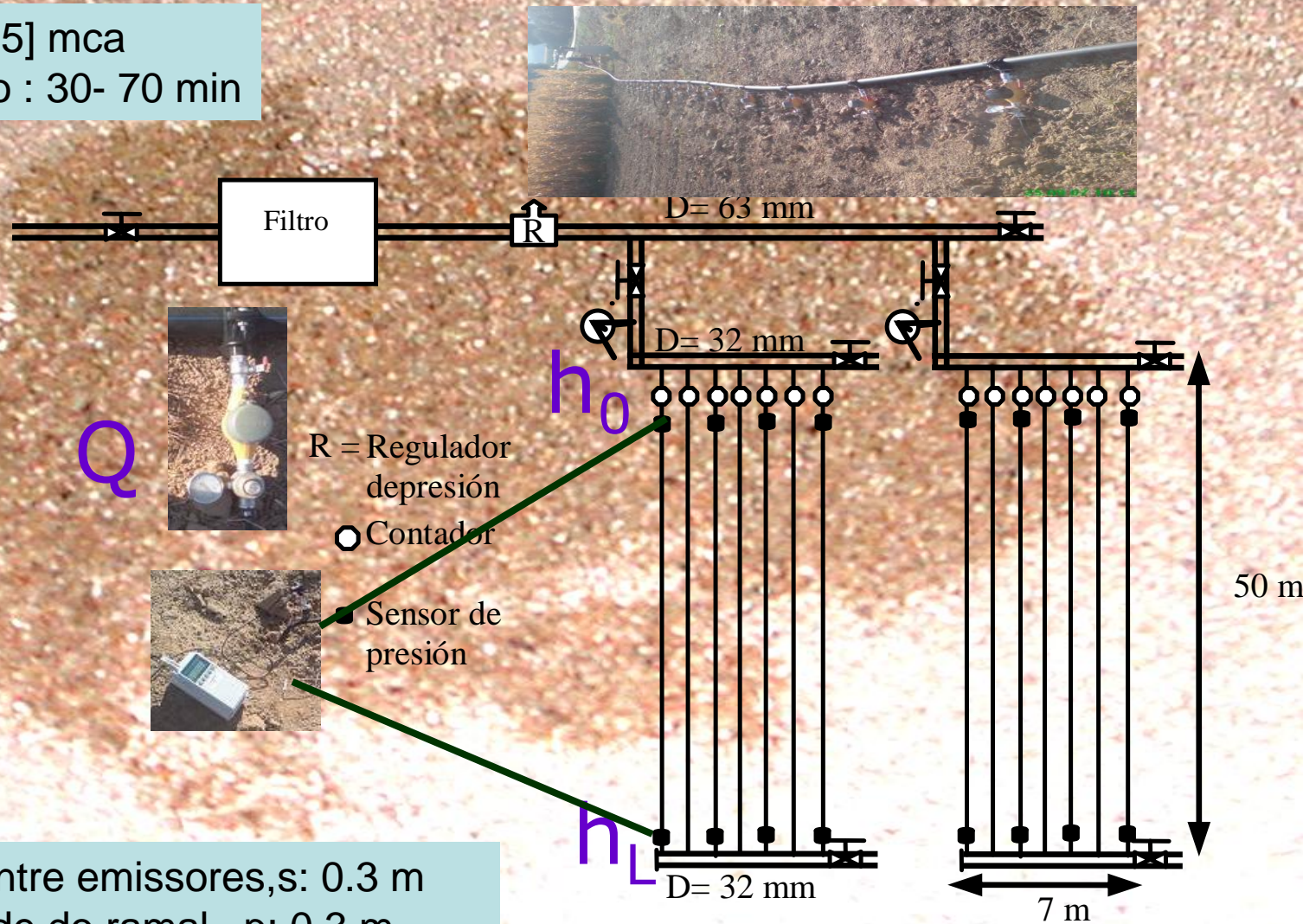
ENTRADA DE RAÍZES



Fuente: Ronaldo Souza 2003

AValiação DE UNIDADES DE IRRIGAÇÃO EM CAMPO

$h_0 = [10-15]$ mca
Tempo irrigação : 30- 70 min



Separação entre emissores, s: 0.3 m
Profundidade do ramal, p: 0.3 m

AVALIAÇÃO DE UNIDADES DE IRRIGAÇÃO EM CAMPO

UNIFORMIDADE DE APLICAÇÃO DA ÁGUA EMISSOR NC SOLO FRANCO HOMOGÊNEO

	Ramai 1	Ramai 2	Ramai 3	Ramai 4	Ramai 5	Ramai 6
\bar{q} (L/h)	2.79	2.82	3.21	3.18	3.95	3.87
\bar{h}_o (m)	8.1	8.5	11.4	11.2	16.1	15.7
\bar{h}_L (m)	5.4	5.8	8.0	7.8	11.1	10.9
CV_{sup}	0.085	0.085	0.083	0.083	0.081	0.081
CV_{ent}	0.082	0.080	0.077	0.077	0.078	0.078

Nota: L= 50 m; D= 14.6 mm y s = 0.3 m. Emissor: x = 0.48; CVm = 0.058 y le (comprimento equivalente no ponto de inserção do emissor) = 0.76 m.
 $_{sup}$ = superficial, $_{ent}$ = sob a superfície.

AVALIAÇÃO DE UNIDADES DE IRRIGAÇÃO EM CAMPO

UNIFORMIDADE DE APLICAÇÃO DA ÁGUA EMISSOR NC SOLO FRANCO NÃO HOMOGÊNEO

	Ramal 1	Ramal 2	Ramal 3	Ramal 4	Ramal 5	Ramal 6
\bar{q} (L/h)	2.75	2.77	3.13	3.10	3.91	3.82
\bar{h}_o (m)	8.1	8.5	11.4	11.2	16.1	15.7
\bar{h}_L (m)	5.4	5.8	8.0	7.9	11.2	10.9
CV_{sup}	0.081	0.081	0.078	0.079	0.076	0.076
CV_{ent}	0.116	0.115	0.106	0.107	0.091	0.092

Nota: L= 50 m; D= 14.6 mm y s = 0.3 m. Emissor: x = 0.48; CVm = 0.058 y le (comprimento equivalente no ponto de inserção do emissor) = 0.76 m. $_{sup}$ = superficial, $_{ent}$ = sob a superfície .

DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA NAS UNIDADES DE IRRIGAÇÃO SDI

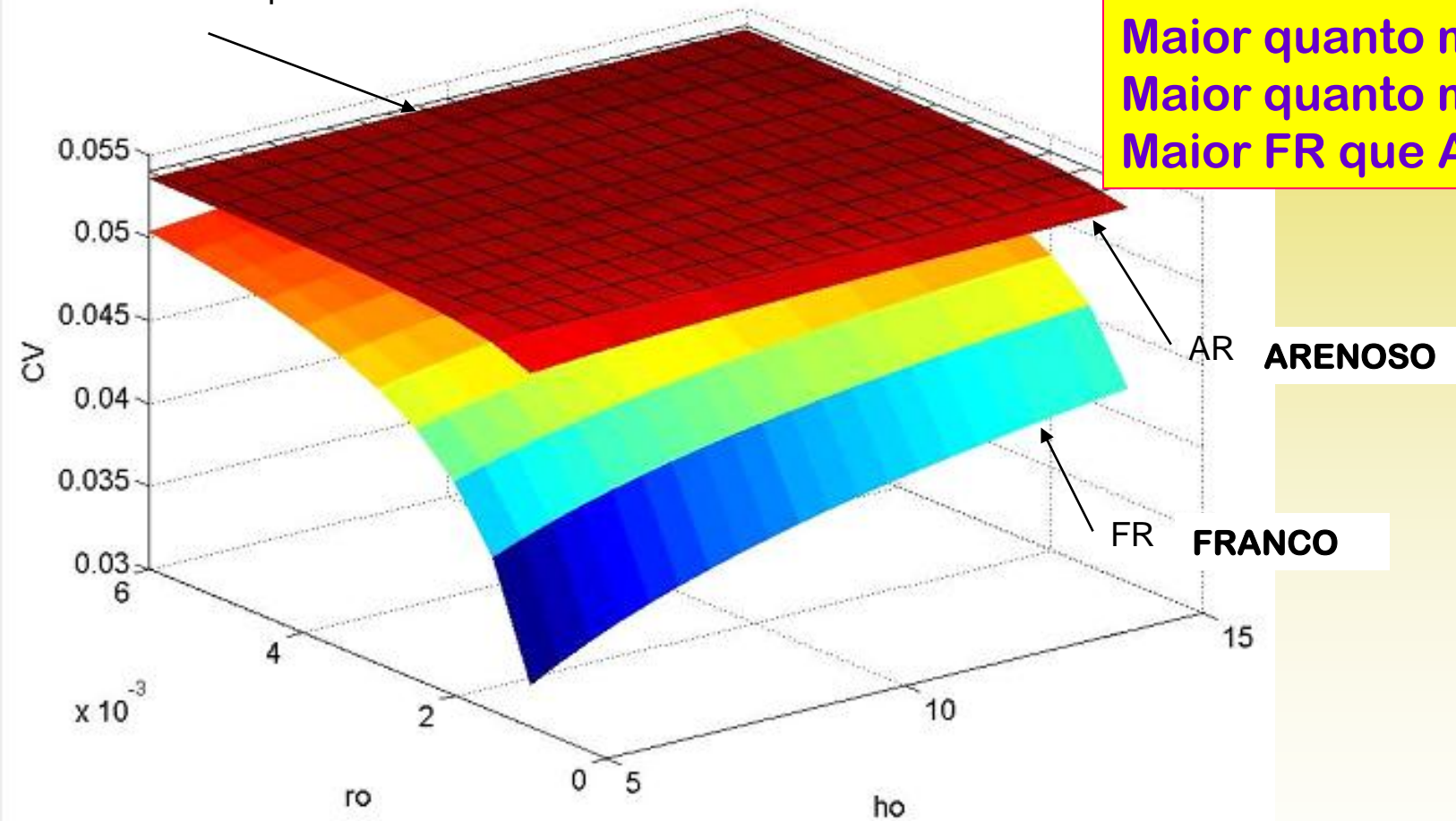
Solo homogêneo

Emissores com a mesma pressão

$$q = k[h_0 - h_s]^x$$

UNIFORMIDADE:
Maior quanto menor h_0
Maior quanto menor r_0
Maior FR que AR

Emissores na superfície do solo



DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA NAS UNIDADES DE IRRIGAÇÃO SDI

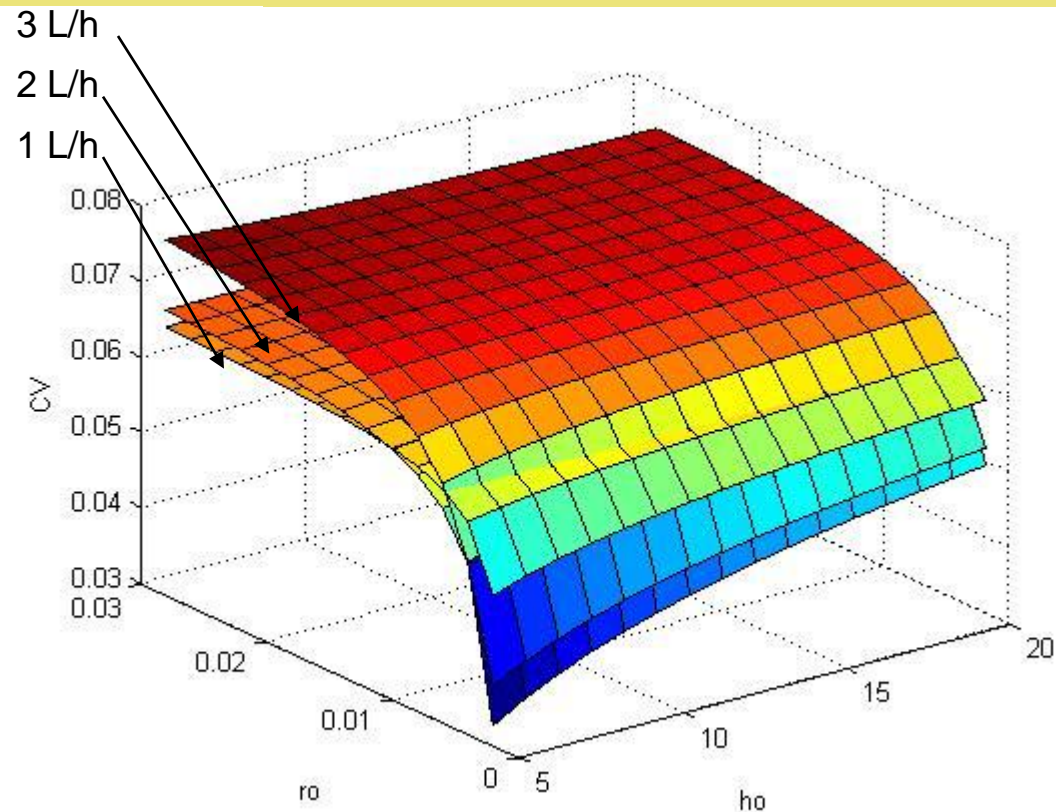
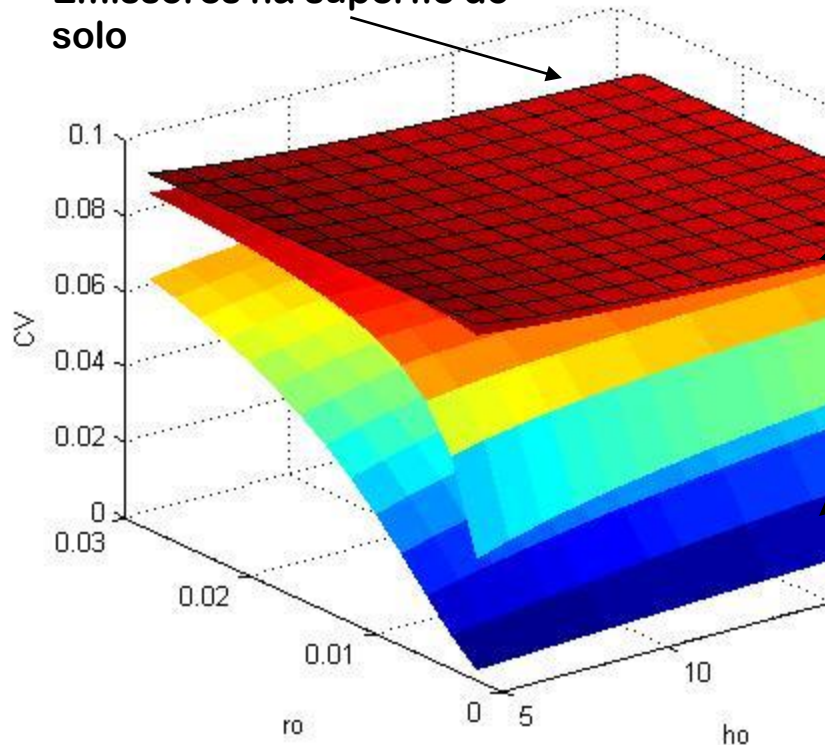
UNIFORMIDADE NAS RAMAIS

Solo homogêneo

Com menor K_s
menor uniformidade

Com mais alta vazão nominal do
emissor q_n menor uniformidade

Emissores na superfície do
solo



DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA NAS UNIDADES DE IRRIGAÇÃO SDI

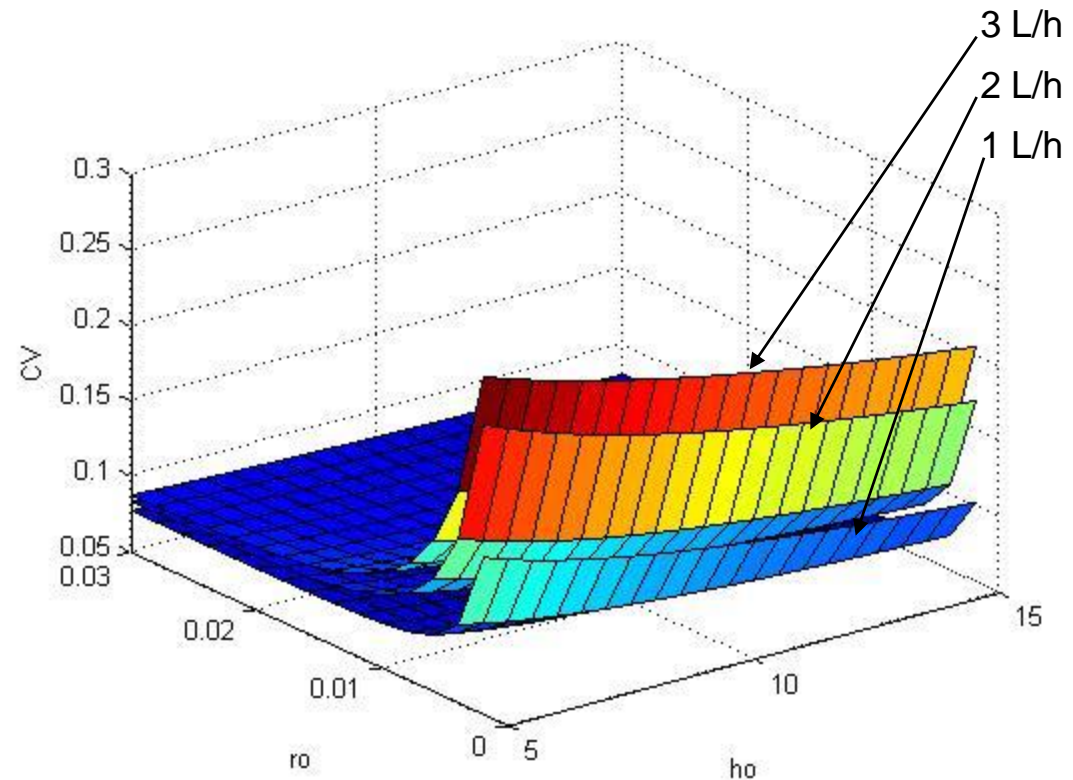
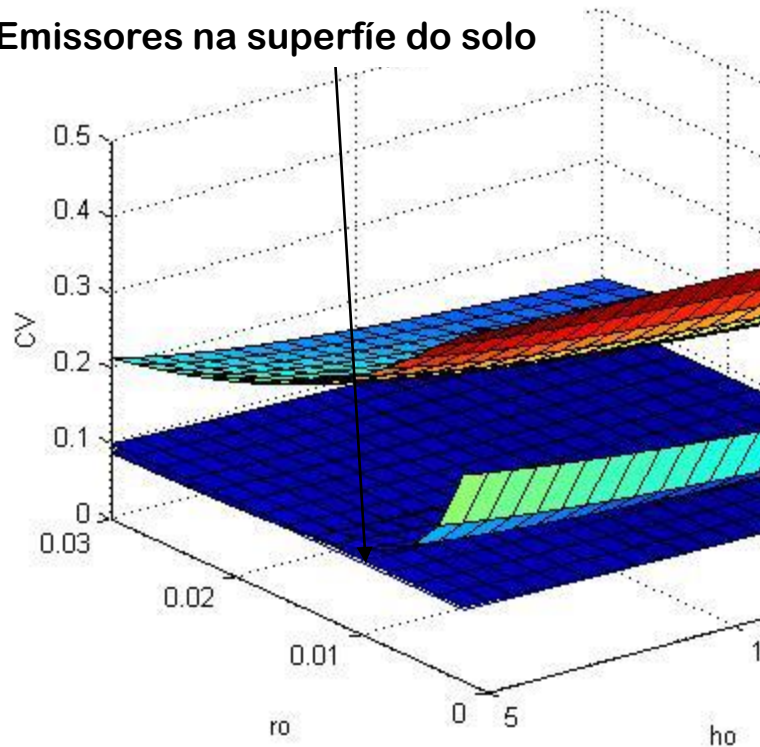
UNIFORMIDADE NAS RAMAIS

Solo com variabilidade espacial

Com menor K_s menor uniformidade

Com mais alta vazão nominal do emissor q_n menor uniformidade

Emissores na superfície do solo



Recomendação altas h_o y baixos q_n

CRITÉRIOS PARA A SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS DE PROJETO E OPERAÇÃO DA IRRIGAÇÃO

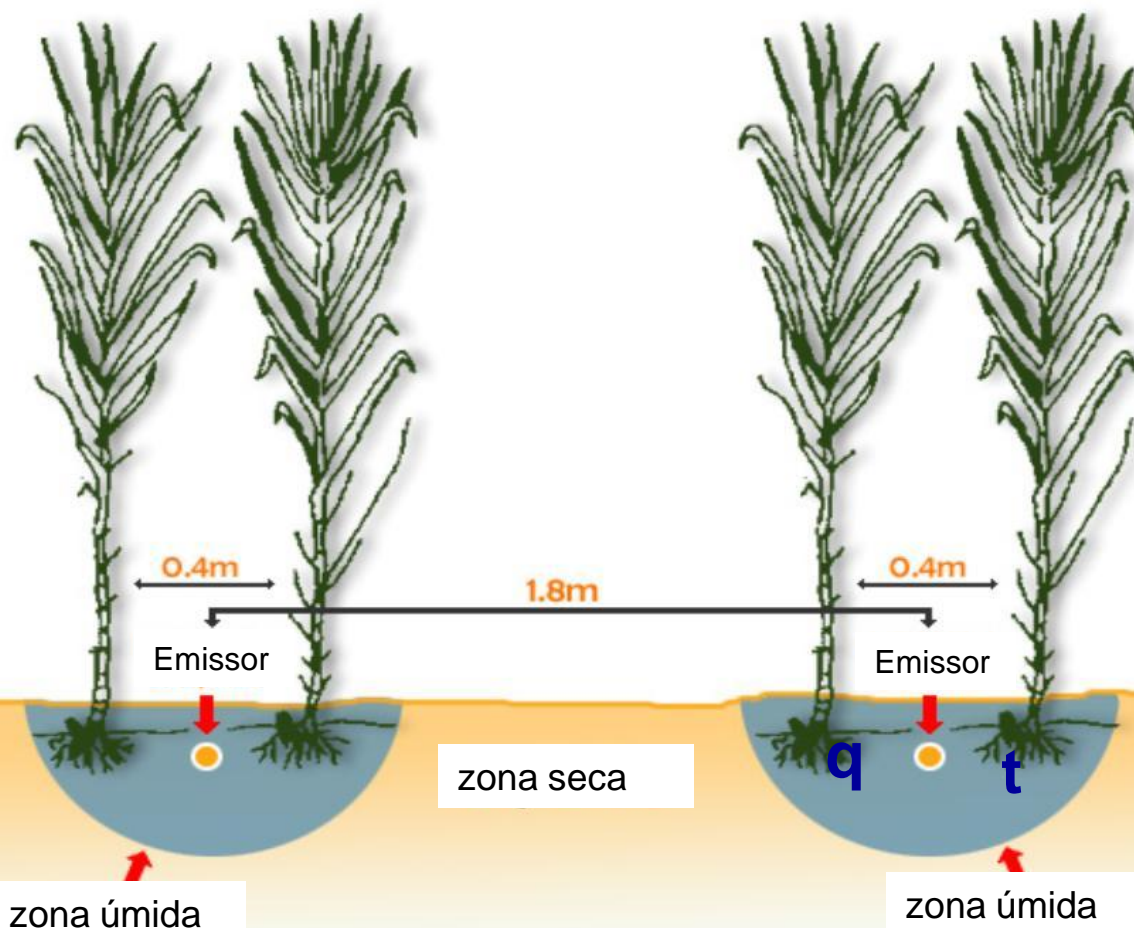
K

Projeto

- ✓ Valores máximos de vazão
- ✓ Separação entre emissores
- ✓ Profundidade do ramais

Manejo

- ✓ Pressão de trabalho
- ✓ Tempo da irrigação



(Adaptado de: NETAFIM, 2008)

CRITÉRIOS PARA A SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS DE PROJETO E OPERAÇÃO DA IRRIGAÇÃO

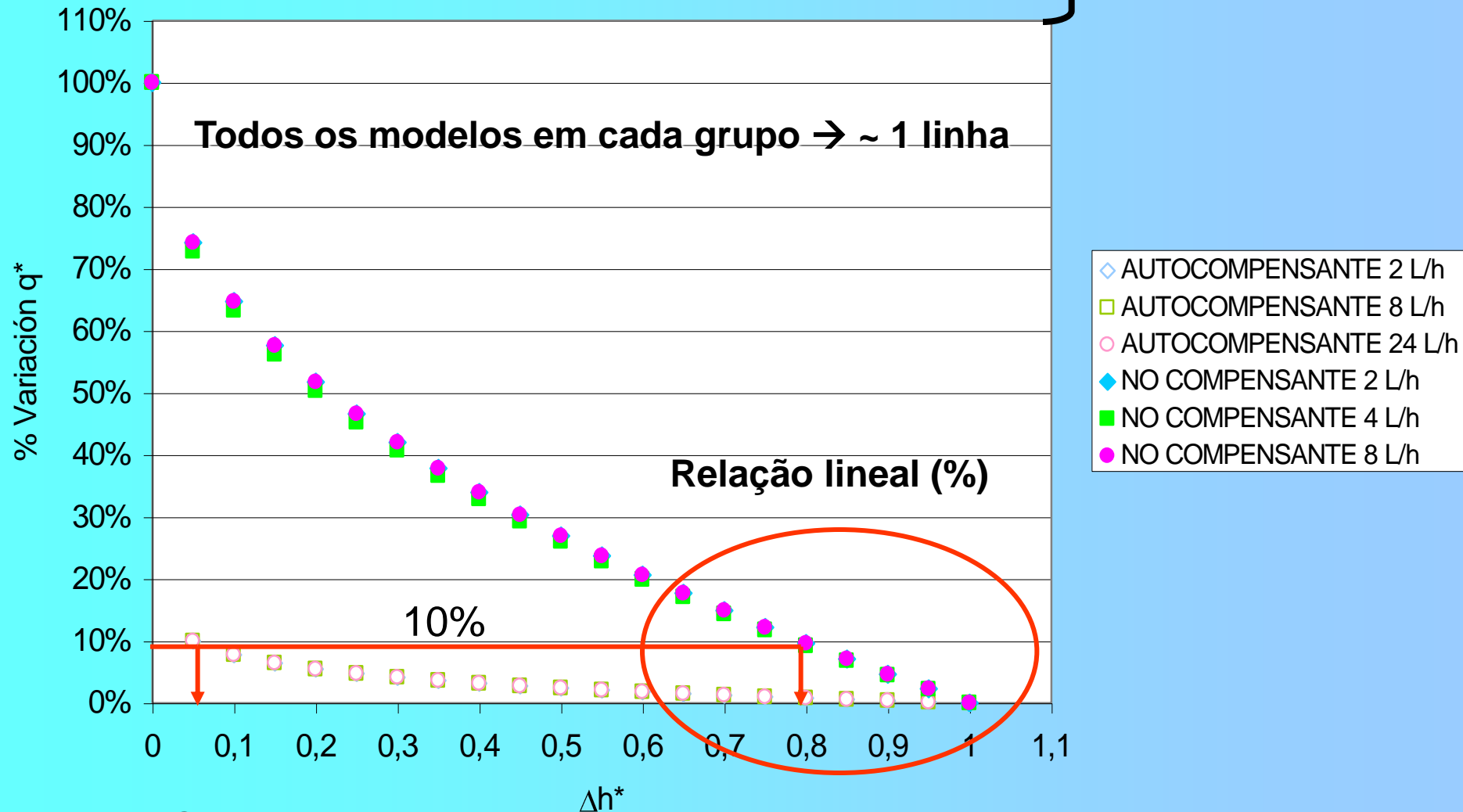
VALORES MÁXIMOS DE VAZÃO

$$q^* = q/h_0^x$$

$$\Delta h^* = (h_0 - h_s)/h_0$$

$$\left. \begin{array}{l} q^* = q/h_0^x \\ \Delta h^* = (h_0 - h_s)/h_0 \end{array} \right\} q^* = k \cdot (\Delta h^*)^x$$

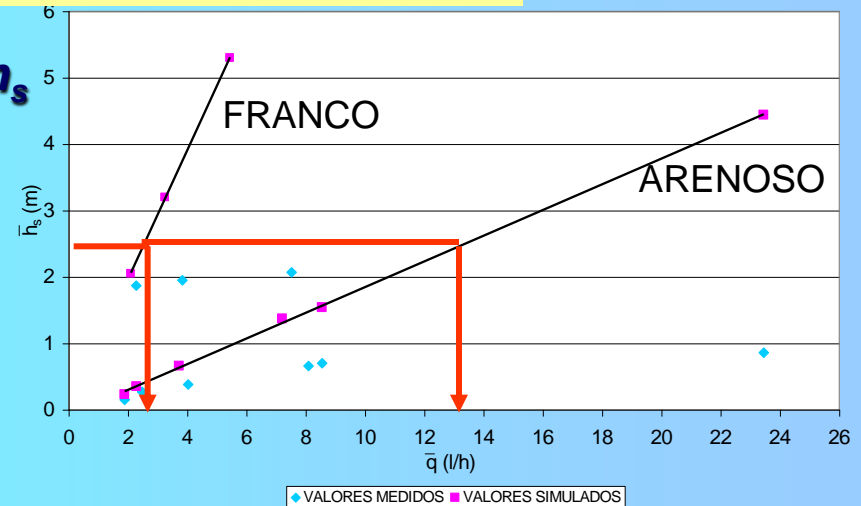
Todos os modelos em cada grupo $\rightarrow \sim 1$ linha



CRITÉRIOS PARA A SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS DE PROJETO E OPERAÇÃO DA IRRIGAÇÃO

VALORES MÁXIMOS DE VAZÃO EMISSORES NÃO COMPENSANTES

- Δh^* ($\Delta h^* = (h_0 - h_s)/h_0$) : Conheça $h_0 \rightarrow h_s$
- Valores simulados: $h_s \rightarrow \bar{q}$
- $q_{m\acute{a}x} \rightarrow$ Aumentada em 10%



Emissor NC: Variação $q^* = 10\% \rightarrow \Delta h^* = 0,79$

- $h_0 = 10$ m :
 - Solo FR: $q_{m\acute{a}x} = 2,35$ L/h
 - Solo AR: $q_{m\acute{a}x} = 12,44$ L/h

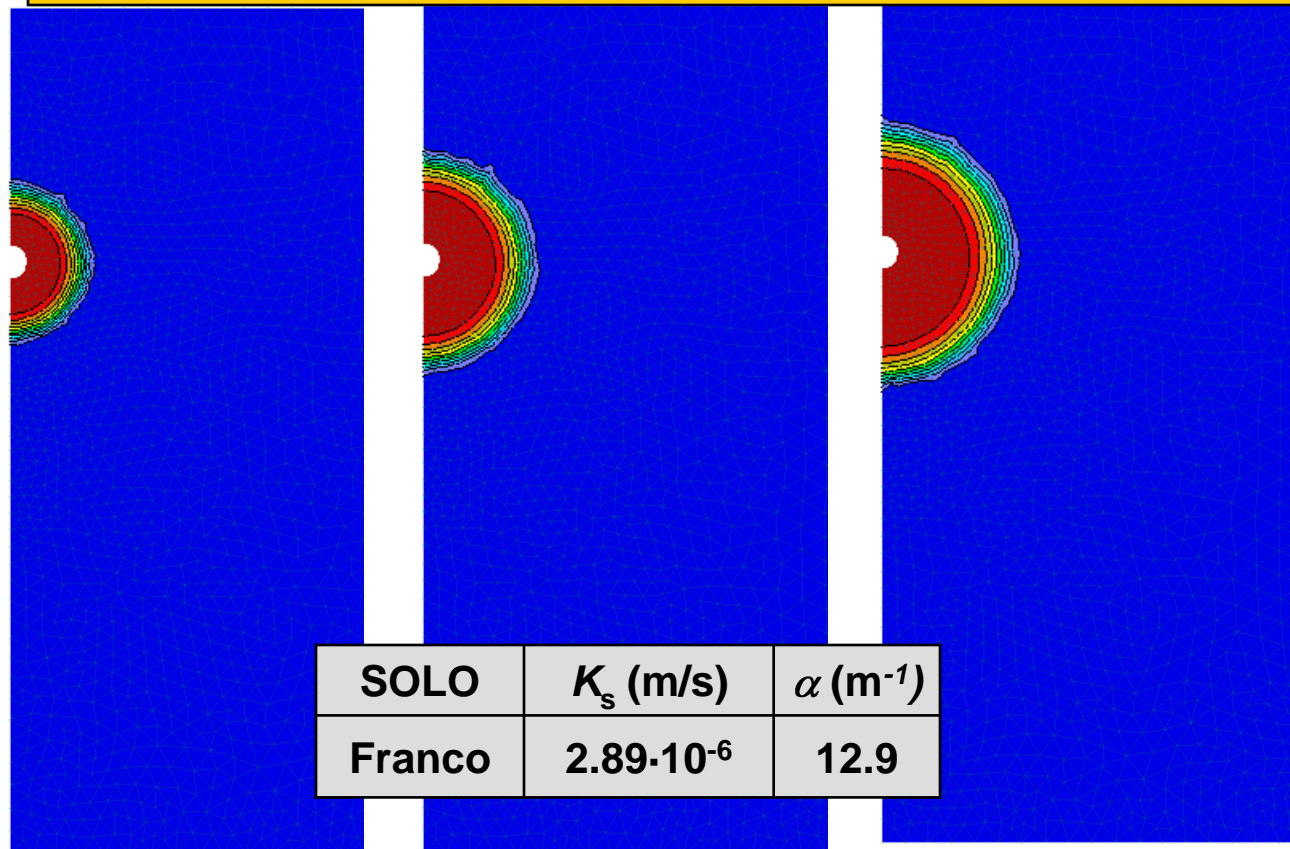
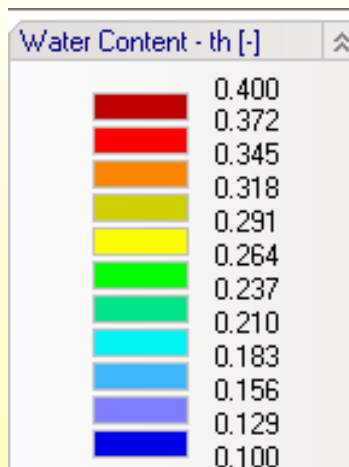
Emissor compensante \rightarrow Variação $q^* < 10\%$ se $\Delta h^* >$ pressão fechamiento (2 m)

- $h_0 = 10$ m :
 - Solo FR: $q_{m\acute{a}x} = 10,73$ L/h
 - Solo AR: $q_{m\acute{a}x} = 54,51$ L/h

MANEJO DE IRRIGAÇÃO

EMISSOR NÃO COMPENSANTE

profundidade ramais= 0.3 m. Pressão de trabalho: 11m



Irrigation time:

30 min

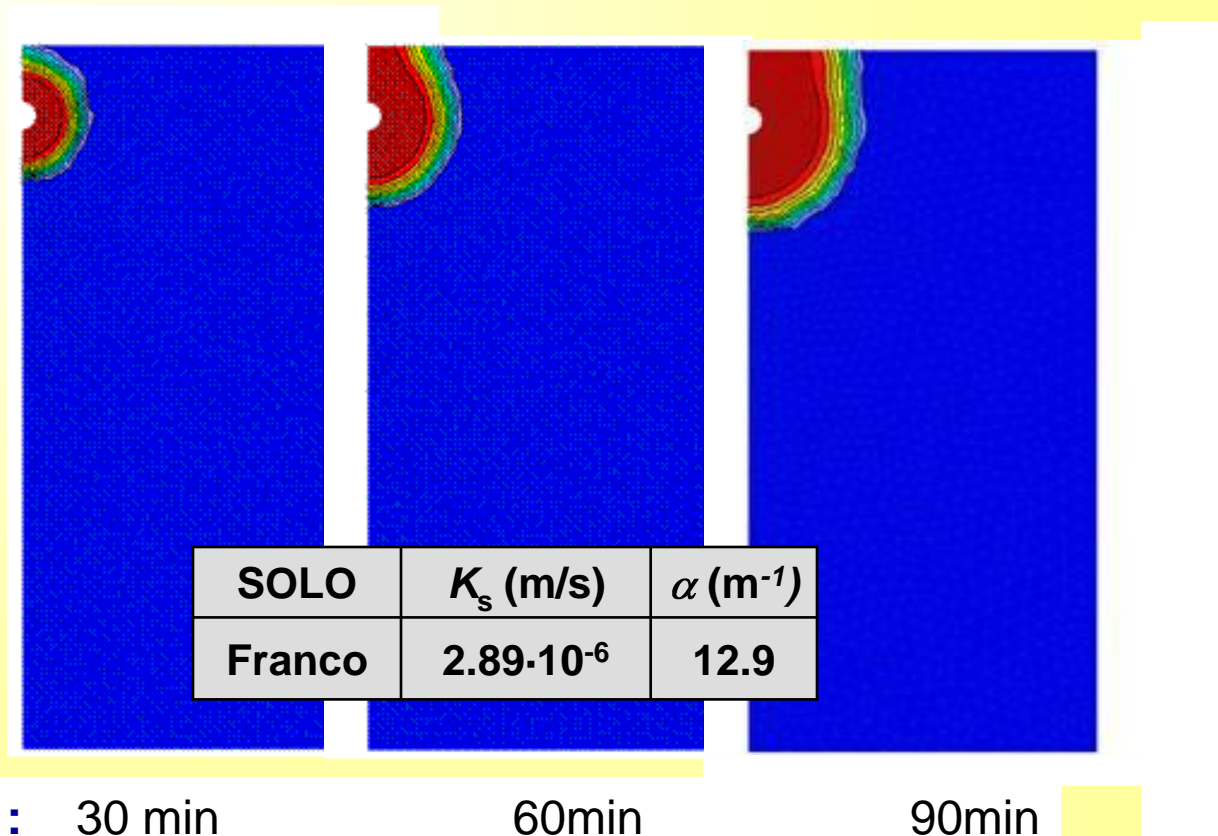
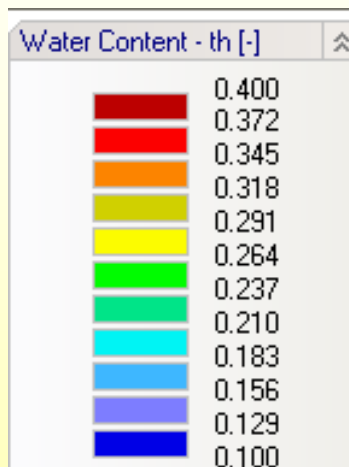
60min

90min

MANEJO DE IRRIGAÇÃO

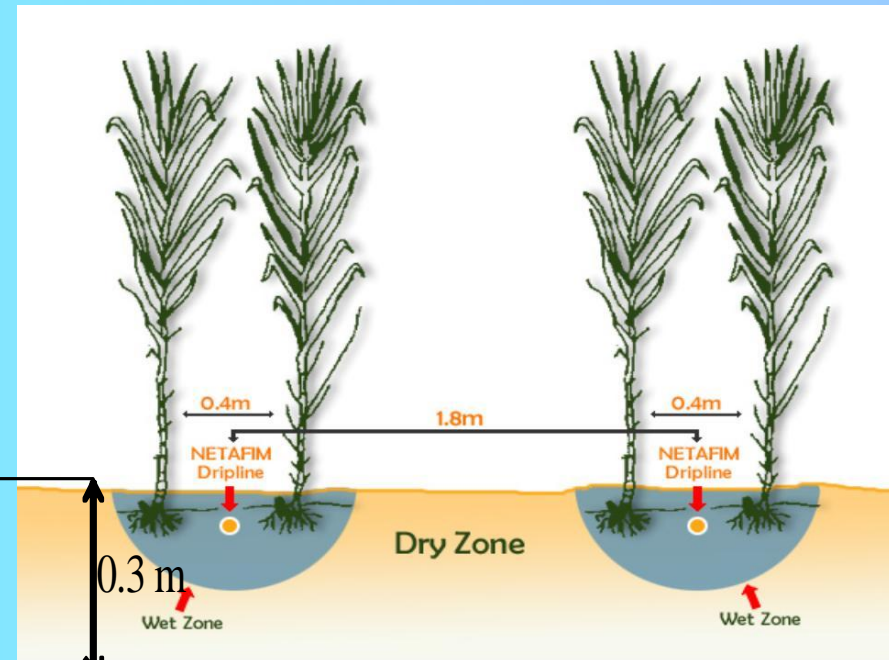
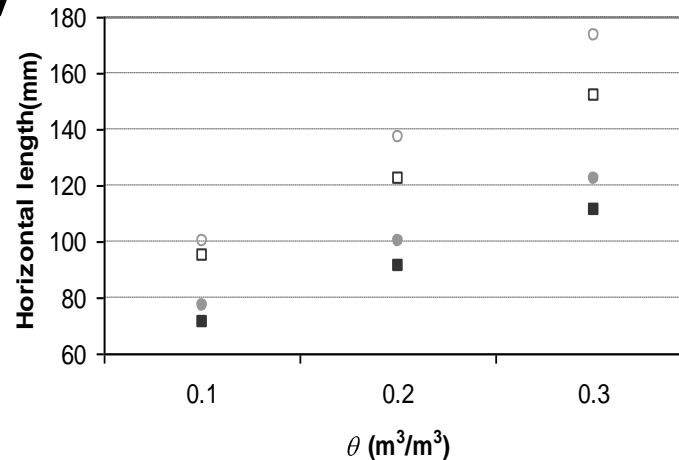
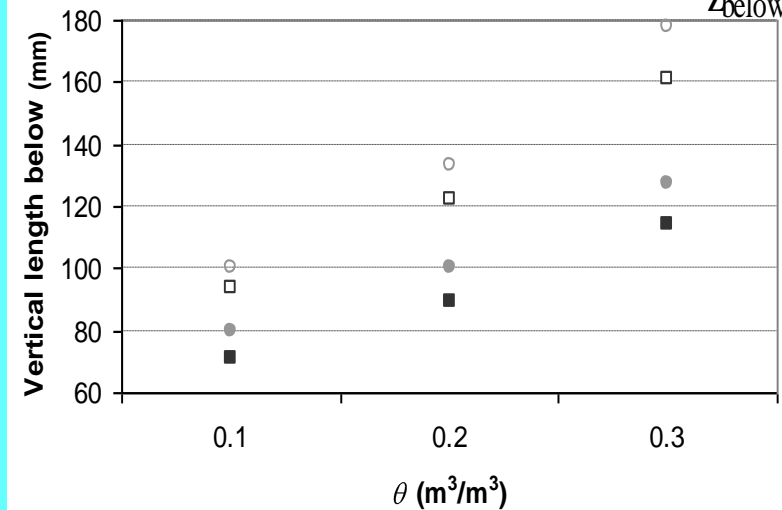
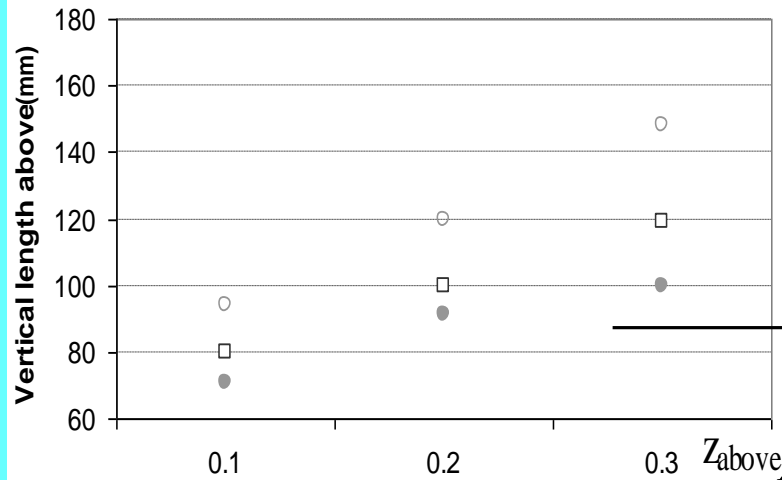
EMISSOR NÃO COMPENSANTE

profundidade ramais = 0.1 m. Pressão de trabalho: 11m



MANEJO DE IRRIGAÇÃO

Variação da água de solo



(Adaptado de: NETAFIM, 2008)

- h=8m 30 min
- h=16m 30min
- h=8m 60min
- h=16m 60min

CONCLUSÕES (I)

As propriedades do solos com poros finos afetam a vazão dos emissores compensantes e não compensantes. A vazão dos ramais diminui de forma acentuada logo após os primeiros 10 a 15 minutos depois do início da irrigação e, posteriormente, se estabiliza.

A variação da vazão no tempo na unidade com emissor compensante (entre 5 ao 19%) é maior que na não compensante (entre 2 ao 7%).

CONCLUSÕES (II)

Os emissores compensantes podem perder seu efeito regulador por: fadiga do elastômero (da membrana), partículas de solo e/ou raízes depositadas no labirinto e do elastômero (da membrana).

Nos solos homogêneos com infiltração pequena, a variabilidade da vazão será que na irrigação superficial pelo efeito da auto regulação da vazão do emissor. A uniformidade de aplicação da água será maior na irrigação subsuperficial.

CONCLUSÕES (III)

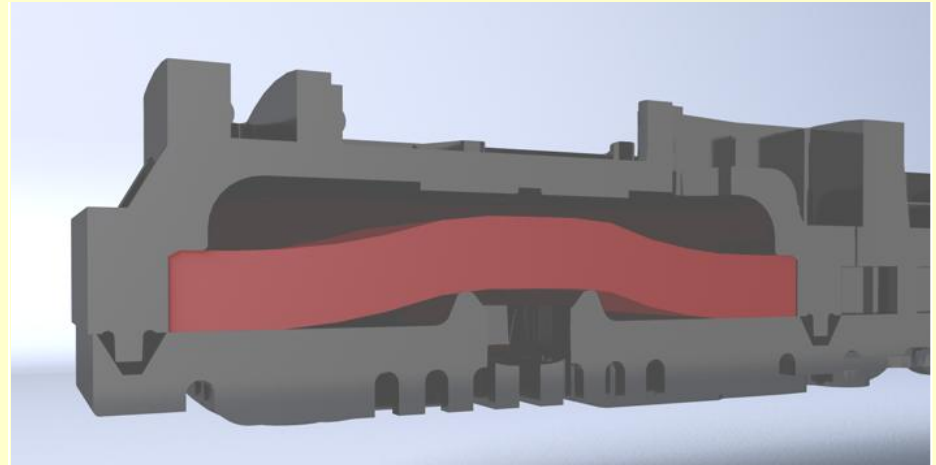
Nos solos com variabilidade espacial, tais como os solos agrícolas, a variabilidade da vazão é maior no ramal da irrigação subsuperficial do que na irrigação superficial em solos com poros finos e menor em solos de poros grossos. No primeiro caso, a variabilidade anula o efeito auto regulador do solo.

CONCLUSÕES (IV)

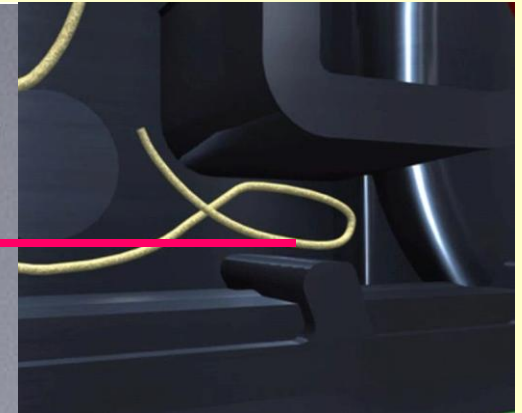
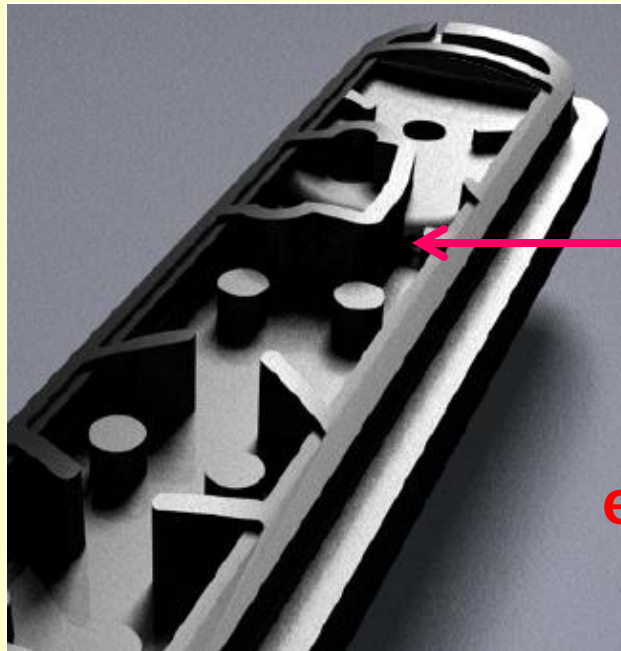
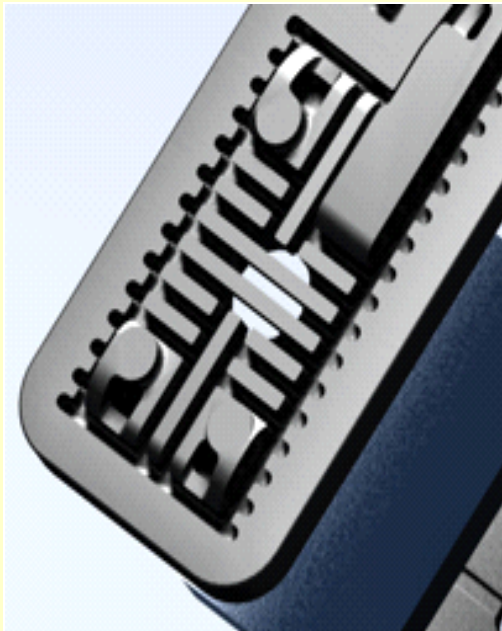
Os programas de simulação do cálculo hidráulico de unidades de SDI são uma ferramenta útil para predizer a distribuição da água na unidade e, assim, determinar os índices de uniformidade e os resultados da irrigação. Pode ser útil, na tomada de decisões do manejo da irrigação (pressão e tempo de aplicação da água) e na seleção de variáveis do projeto (espaçamento entre emissores, profundidade).

É preciso de uma calibração com medição da vazão e das alturas de pressão no cabezal e/ou no fim dos diferentes ramais durante a avaliação de campo, assim como, as características físico-hídricas do solo.

DESENVOLVIMIENTO DE EMISSORS

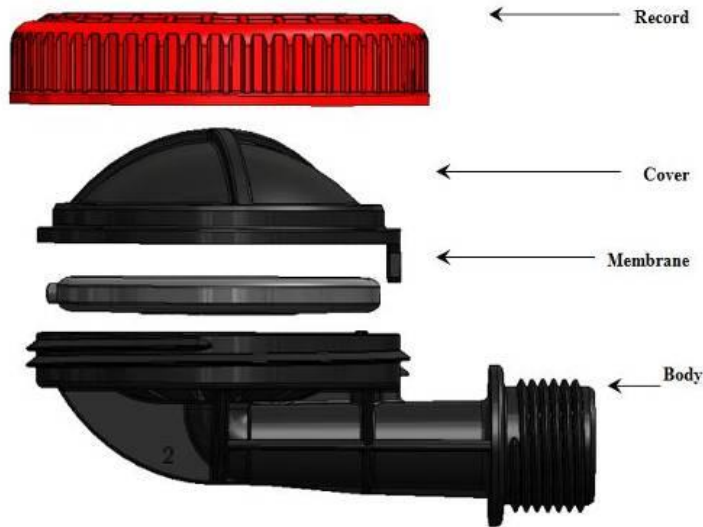


ENTRADA DE PARTÍCULAS DE SOLO



entrada de raíces

VALVE DE LAVAGEM



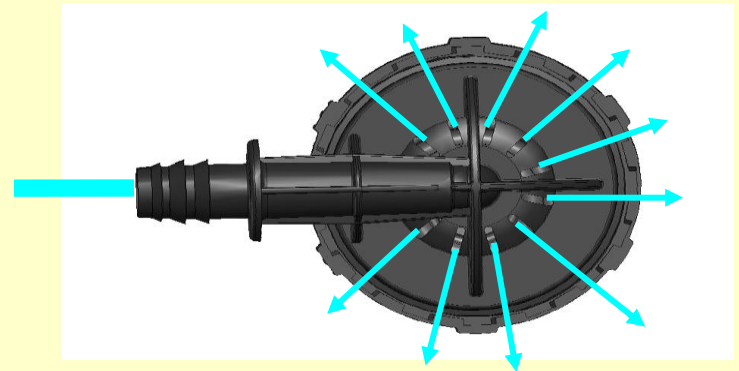
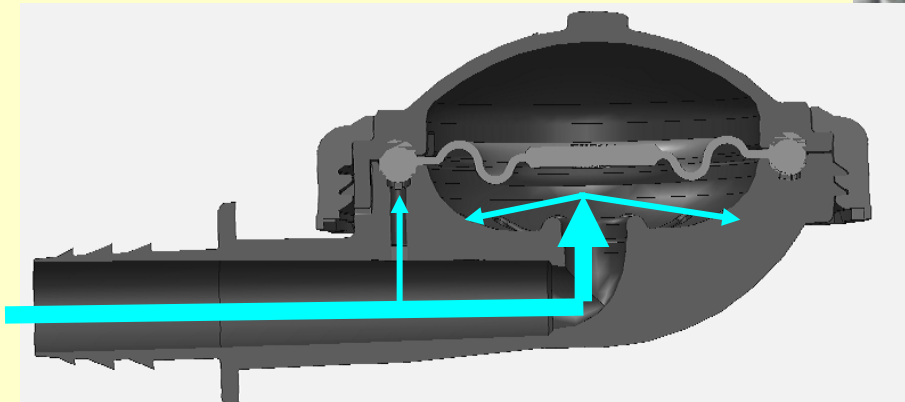
–Pressão de trabalho: 0.5-3.0 bar

–Tempo de lavagem 1 bar: 25-30 s

Volume de água de lavagem:

Baixo: 1-1.5 L

Alto: 2-2.5 L



LINHAS DE PESQUISA E INOVAÇÃO

**DESENVOLVIMENTO DE CRITÉRIOS DE IRRIGAÇÃO
SEGUNDO O TIPO DE SOLO**

**DESENVOLVIMENTO DE EMISSORES QUE DIFICULTEM A
INTRUSÃO DAS RAÍZES E O DEPÓSITO DE PARTÍCULAS
DE SOLO**

**DESENVOLVIMENTO DE ELEMENTOS DO SISTEMA DE
IRRIGAÇÃO QUE FAVORECEM A LAVAGEM DE
PARTÍCULAS DEPOSITADAS NAS TUBULAÇÕES E/OU
EMISSORES**

**DESENVOLVIMENTO MÉTODOS DE AVALIAÇÃO EM
CAMPO**

**ESTUDO DO EFEITO DE DETERMINADAS QUALIDADES DE
ÁGUAS TRATADAS**



POLITÉCNICA

"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL



MUITO OBRIGADA

LEONOR RODRÍGUEZ SINOBAS
(leonor.rodriguez.sinobas@upm.es)

GRUPO DE INVESTIGACIÓN HIDRÁULICA DEL RIEGO (UPM)